

**SECOND HARMONIC GENERATING LIGHT SOURCE OF WAVEGUIDE PATH TYP**

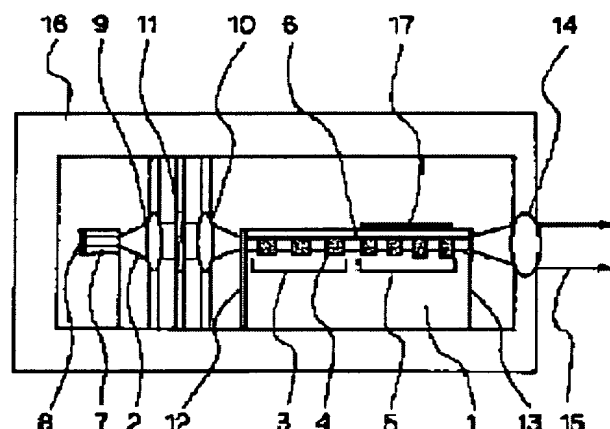
**Patent number:** JP7028112  
**Publication date:** 1995-01-31  
**Inventor:** ITOU AKITOMO; KAWAMOTO KAZUTAMI; KAEDE HIROSHI; KOMODA MIGAKU; MAKIO SATOSHI; NITANDA FUMIO  
**Applicant:** HITACHI LTD;; HITACHI METALS LTD  
**Classification:**  
- international: G02F1/37; H01S3/109  
- european:  
**Application number:** JP19930174330 19930714  
**Priority number(s):** JP19930174330 19930714

Report a data error here

**Abstract of JP7028112**

**PURPOSE:** To provide a second harmonic generating light source which involves less deterioration in the efficiency for varying laser wavelength, is easy to conduct light collection, provides less wave-front aberration, and is easy manufacturable, by furnishing a plurality of polarized inversion/refractive index modulation parts having different periods.

**CONSTITUTION:** A second harmonic generating light source of waveguide path type includes a light waveguide part 4 composed of at least two regions having different periods, with which a semiconductor laser 7 makes oscillation with a wavelength meeting Eq. I by Bragg's reflection from the region with a period  $\Lambda_{BDA1}$  where the light waveguide part 4 exists, and setting is made so that at least one of modulation periods  $\Lambda_{BDA2}$  other than this region meets Eq. II and does not meet Eq. I. In Eqs.,  $N(\lambda)$  is the effective index of refraction of the waveguide light at wavelength  $\lambda$  and  $N(\lambda/2)$  is the refractive index of the waveguide light at the wavelength  $\lambda/2$ . Because one of them is used for generation of second harmonic while the other is used as a diffraction lattice, the second harmonic generating part can be provided separately from the reflection part of the fundamental wave, so that an optimum design can be made for respective conditions.



$$\frac{2\pi}{\Lambda_1} = 2N(\lambda) \frac{2\pi}{\lambda}$$

I

$$\frac{2\pi}{\Lambda_2} = \frac{4\pi}{\lambda} \{N(\lambda/2) - N(\lambda)\}$$

II

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-28112

(43)公開日 平成7年(1995)1月31日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/37		9316-2K		
H 0 1 S 3/109		8934-4M		

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平5-174330

(22)出願日 平成5年(1993)7月14日

(71)出願人 000005108  
株式会社日立製作所  
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(71)出願人 000005083  
日立金属株式会社  
東京都千代田区丸の内2丁目1番2号

(72)発明者 伊藤 顕知  
東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 川本 和民  
東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(74)代理人 弁理士 中村 純之助

最終頁に続く

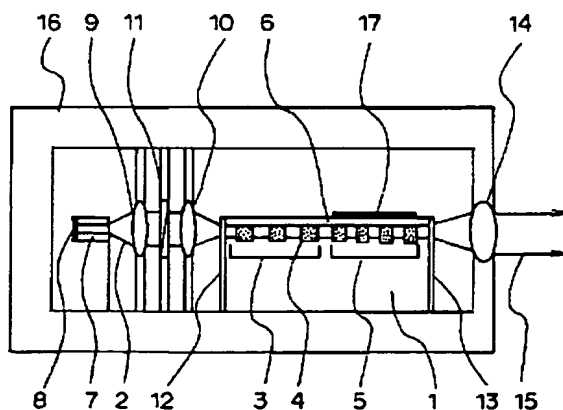
(54)【発明の名称】 導波路型第2高調波発生光源

(57)【要約】

【目的】 赤外レーザ光を可視光に変換する、変換効率が高く発振波長が安定な導波路型第2高調波発生光源を得る。

【構成】 基板1内に複数の周期が異なる分極反転／屈折率変調部を有する光導波部4を設け、その一方を分極反転格子3とし他方を回折格子5とし、入射した半導体レーザ7の光を、分極反転格子3で第2高調波15に変換し、残りを回折格子5でレーザ7側に反射するとともに、回折格子5上の電極17に電圧印加し半導体レーザ波長を調整する。

図1



1: 光学基板 3.5: 分極反転／屈折率変調部  
4: 光導波部 6: 透明薄膜 7: 半導体レーザ 8: 反射膜  
12,13: コーティング膜 15: 第2高調波 17: 電極

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】基本波である半導体レーザの光を、自発分極を有する光学基板内に設けた、自発分極の向きおよび基板の屈折率が周期的に変調される光導波部に入射して、第2高調波に変換する導波路型第2高調波発生光源\*

$$\frac{2\pi}{\Lambda 1} = 2N(\lambda) \frac{2\pi}{\lambda}$$

(ただし、 $N(\lambda)$ は波長 $\lambda$ における導波光の実効屈折率)を満足する波長 $\lambda$ で発振され、上記領域以外の変調※

$$\frac{2\pi}{\Lambda 2} = \frac{4\pi}{\lambda} \{N(\lambda/2) - N(\lambda)\}$$

(ただし、 $N(\lambda/2)$ は波長 $\lambda/2$ における導波光の屈折率)を満足し、かつ(1)式を満足しないように設定することを特徴とする導波路型第2高調波発生光源。

【請求項2】上記(2)式を満足する変調周期を有する領域は、上記半導体レーザと上記(1)式を満足する変調周期の領域との間に設定されたことを特徴とする請求項1記載の導波路型第2高調波発生光源。

【請求項3】上記(1)式を満足する変調領域は、該変調領域上に光学的に透明な薄膜を介して一対の電極を設け、上記電極間に直流電圧を印加して、上記光導波部の屈折率を調整することを特徴とする請求項1記載の導波路型第2高調波発生光源。

【請求項4】上記一対の電極間に印加する直流電圧は、得られる電界により上記電極下の光導波部における屈折率を制御し、上記半導体レーザの発振波長を変化させることにより、第2高調波出力の強度を変調することを特徴とする請求項2記載の導波路型第2高調波発生光源。

【請求項5】上記光導波部の周期 $\Lambda 1$ を有する領域以外の領域は、変調周期 $\Lambda 2$ の少なくとも1つが上記(1)式を満足しないように設定され、少なくとも上記(1)式を満足する変調領域上に光学的に透明な薄膜を介して一対の電極を設け、上記一対の電極間に電圧を印加して得られる電界により、上記電極下の光導波部の屈折率を制御し、上記半導体レーザの発振波長を変化させて変調周期 $\Lambda 2$ の少なくとも1つが(2)式を満足するようにし、かつ周期 $\Lambda 2$ を有する変調領域が、半導体レーザと(1)式を満足する変調領域との間に設置されることを特徴とする請求項1記載の導波路型第2高調波発生光源。

【請求項6】上記光学基板は、上記半導体レーザ光の入射端面または半導体レーザとの間に、半導体レーザ光のみを透過し、半導体レーザの第2高調波を反射する手段を設けたことを特徴とする請求項1記載の導波路型第2高調波発生光源。

【請求項7】上記光学基板は、上記半導体レーザ光の入射端面とは反対側の端面に、半導体レーザの第2高調波を透過する手段を設けたことを特徴とする請求項1記載の導波路型第2高調波発生光源。

【請求項8】上記半導体レーザは、上記光学基板とは反

2

\*において、上記光導波部が少なくとも2つ以上の互いに周期が異なる領域からなり、上記半導体レーザが、上記光導波部のある周期 $\Lambda 1$ を有する領域からのブラッグ反射により、

【数1】

(1)

※周期 $\Lambda 2$ の少なくとも1つが

【数2】

(2)

対側の端面に、半導体レーザ光を反射する手段を設けたことを特徴とする請求項1または請求項3から請求項6のいずれかに記載の導波路型第2高調波発生光源。

【請求項9】上記一対の電極は、上記光導波部の光の伝搬方向と平行に、配置されていることを特徴とする請求項2または請求項4記載の導波路型第2高調波発生光源。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光ディスク装置等の光応用装置の光源として、波長約800nmの半導体レーザ光を波長約400nmの光に変換するような、導波路型第2高調波発生光源に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光記録再生装置の記録密度を向上し、レーザビームプリンタを高精細化するために、半導体レーザの波長を従来の800nmから500nm以下に短縮することが強く要望されている。しかしながら、このためにはレーザ用半導体を従来の三ー五族半導体から二ー六族半導体に変更する必要があるが、まだ見通しが得られていない。

【0003】したがって現状では、例えば波長800nmの半導体レーザ光(赤外光)を第2高調波発生素子(SHG: Second Harmonic Generator)を用いて、波長400nmの第2高調波に変換する方法が注目されている。上記波長変換においては誘電率の非線形性が利用される。しかし、光学材料の屈折率は一般に波長によって変化するため、エネルギー保存則を満足すると運動量の保存法則が成立しないという問題があり、単純に第2高調波を取り出すことができなかった。そこで、基本波と第2高調波との間の位相整合、すなわち第2高調波発生素子内で発生した無数の第2高調波成分を、光導波路内において同位相で合成させることが検討されている。

【0004】例えば1989年の電子情報通信学会秋季全国大会予稿集C-249には図9に示すように、タンタル酸リチウム( $\text{LiTaO}_3$ )基板31上に、マグネシウムをドーブしたニオブ酸リチウムを液相成長させて光導波路32を形成し、その一端より基板表面に対して水平に偏光35した基本波33(TE偏光)を入射し、

他端面から垂直偏光36の(TM偏光)第2高調波34を射出させることが開示されている。

【0005】また、特開昭61-18964号公報には、図10に示すように $\text{LiNbO}_3$ 単結晶基板41に、プロトン交換法( $\text{LiNbO}_3$ の $\text{Li}$ イオンとプロトンとを一部置換する方法)により光導波路42を形成し、その一端より基板表面に対して垂直に偏光した基本波43を入射し、光導波路42内でチレンコフ放射により発生した垂直偏光の第2高調波44を取り出す方法が開示されている。

【0006】また、エレクトロニクス・レターズ(Electronics Letters)第25巻、第731~732頁には図11に示すように、例えば $\text{LiNbO}_3$ 基板51等の自発分極をもつ強誘電体上に、自発分極方向を等ピッチで反転させた分極反転層53と、プロトン交換法により形成した光導波路52を設け、上記光導波路52の一端より $x$ 方向に偏光した基本波54を入射し、他端より $y$ 方向に偏光した第2高調波55を取り出す方法が提案されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記図9に示した従来方法では、 $\text{LiNbO}_3$ の屈折率の波長分散が過大であるため、第2高調波34の波長が500nm以下になると十分に位相整合することができず、純粋な青色光が得られないという問題があった。さらに、基本波33と第2高調波34の各偏光方向における屈折率の温度係数が大きく異なるため、温度により伝播速度が変化して位相整合条件が崩れるので、許容温度幅は0.2℃程度に狭くなり、また、光導波路32の膜厚精度にも0.01μm以下というような非現実的な値が要求されるという問題もあった。

【0008】上記図10に示した従来方法では、第2高調波出力44は断面が三日月型になって波面収差が大きいため、これを光ディスク装置用等の微小光スポットに絞り込むことができないという問題があった。

【0009】一方、図11に示した従来方法の第2高調波発生素子においては、第2高調波が光導波路52に閉じ込められるので射出光を容易に絞り込むことができ、また、基本波54と第2高調波55の偏光方向が同じになるので、偏光方向の差異による屈折率やその温度係数の差異が発生せず、許容温度幅が緩和される。しかし、実用的には不十分であるうえ、波長選択性が厳しく、半導体レーザの波長が僅か1nm変化しただけでも効率がほとんどゼロになるというような問題があった。

【0010】上記波長変動の低減策として、応用物理学会1991年秋期学術講演会予稿集11p-ZN-9には、レーザの温度を±0.5℃以下に制御することが報告されている。また、他の対策としてIEEEのジャーナル・オブ・カンタム・エレクトロニクス、第26巻、

第7号の1265~1276頁には、分極反転格子の周期 $\Lambda$ を徐々に変化させて、上記波長選択性を広帯域化することが提案されている。しかし上記方法は、長い分極反転格子内の周期を数ミクロンオーダーの $1/100$ 以下ずつずらせるので、実際上は作製困難であるうえ、第2高調波の発生に寄与するのは分極反転格子の極めて短い部分であり、他の部分では位相ずれが発生して効率が低下するという問題があった。

【0011】また、特開平2-63026号公報には、図12に示すように上記分極反転周期を変化させるかわりに、光導波路の幅や深さを変化させて、波長選択性を緩和する方法が提案されている。しかしこの方法でも、やはり光導波路の短い部分のみしか第2高調波の発生に寄与しないため、効率が大幅に低下してしまうという問題があった。

【0012】最近では電気情報通信学会技術報告、OQE91-23の第31~36頁において、図13に示すように、図11に示す第2高調波発生素子と半導体レーザ71間をレンズ系73と光ファイバ72によって結合し、上記光ファイバ72と第2高調波発生素子を半導体レーザ71の出力側反射ミラーの機能を兼ねたレーザ共振器として利用し、レーザ発振波長を第2高調波発生可能な波長に引き込む方法が提案されている。この方法ではレーザ波長が安定化されるものの、上記レーザ波長に対する分極反転格子の反射率を高めることは、すなわち導波路の損失を増加させることであり、第2高調波発生効率が大きく低下してしまうという問題がある。また、第2高調波発生素子の作製時に発生する様々な誤差により、例えば設計波長と実際の動作波長とがずれ、半導体レーザを特別に選択するか、または結晶の温度を調節して、設計波長と実際の動作波長を一致させねばならないという副次的な問題もあった。

【0013】本発明の目的は、上記図13に示す従来装置の問題点を解消し、レーザ波長 $\lambda$ の変化に対する効率 $\eta$ の劣化が僅少であり、集光容易で波面収差が小さく、製造容易な導波路型第2高調波発生光源を得ることにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記目的は、基本波である半導体レーザの光を、自発分極を有する光学基板内に設けた、自発分極の向きおよび基板の屈折率が周期的に変調される光導波部に入射して、第2高調波に変換する導波路型第2高調波発生光源において、上記光導波部が少なくとも2つ以上の互いに周期が異なる領域からなり、上記半導体レーザが、上記光導波部のある周期 $\Lambda_1$ を有する領域からのブラッグ反射により、

【0015】

【数1】

$$\frac{2\pi}{\Lambda 1} = 2N(\lambda) \frac{2\pi}{\lambda} \quad (1)$$

【0016】を満足する波長 $\lambda$ で発振され、上記領域以外の変調周期 $\Lambda 2$ の少なくとも1つが \* 【0017】  
\* 【数2】

$$\frac{2\pi}{\Lambda 2} = \frac{4\pi}{\lambda} \{N(\lambda/2) - N(\lambda)\} \quad (2)$$

【0018】を満足し（ただし、 $N(\lambda)$ は波長 $\lambda$ における導波光の実効屈折率、 $N(\lambda/2)$ は波長 $\lambda/2$ における導波光の屈折率である）、かつ（1）式を満足しないように設定することによって達成される。また、上記（2）式を満足する周期を有する変調領域が、半導体レーザと（1）式を満足する変調領域との間に設置されることによって、あるいは、上記光導波部の周期 $\Lambda 1$ を有する領域以外の領域は、変調周期 $\Lambda 2$ の少なくとも1つが上記（1）式を満足しないように設定され、少なくとも上記（1）式を満足する変調領域上に、光学的に透明な薄膜を介して設けた一対の電極間に電圧印加して得た電界により、上記電極下の光導波部の屈折率を制御し、上記半導体レーザの発振波長を変化させることにより、変調周期 $\Lambda 2$ の少なくとも1つが（2）式を満足するようにし、かつ周期 $\Lambda 2$ を有する変調領域が、半導体レーザと（1）式を満足する変調領域との間に設置されることによって達成される。

【0019】また、上記光学基板の半導体レーザ光入射端面または上記半導体レーザとの間に、半導体レーザ光のみを透過し半導体レーザの第2高調波を反射する手段を設け、また、上記光学基板の半導体レーザ光入射端面とは反対側の端面に、半導体レーザの第2高調波を透過する手段を設け、さらに、上記半導体レーザの上記光学基板とは反対側の端面に半導体レーザ光を反射する手段を設けることにより達成され、さらにまた、上記一対の電極が上記光導波部の光の伝搬方向に並行に配置することにより達成される。

【0020】

【作用】本発明における2つ以上の互いに周期が異なる領域からなる光導波部を有する光学基板では、入射した半導体レーザ光が、周期 $\Lambda 2$ を有する変調領域で第2高調波に変換される一方、周期 $\Lambda 1$ を有する変調領域では、上記第2高調波に変換されない半導体レーザ光が半導体レーザ側に反射される。また、上記光学基板の半導体レーザ入射部に設けた反射手段は、半導体レーザの第2高調波成分を反射して基本波成分を透過するが、上記半導体レーザ端面の反射手段は、上記半導体レーザ光を例えば90%以上反射する。

【0021】

【実施例】つぎに本発明の実施例を図面とともに説明する。図1は本発明による導波路型第2高調波発生光源の第1実施例を示す断面図、図2は上記第1実施例の平面図、図3は上記実施例の分極反転周期、回折格子周期と半導体レーザ波長の関係図、図4は上記実施例の回折格

子反射率とブラッグ条件からのずれを示す図、図5は本発明による導波路型第2高調波発生光源の第2実施例を示す断面図、図6は本発明の第3実施例を示す断面図、図7は本発明の光源を光ディスクに応用した例を示す図、図8は本発明の光源をレーザービームプリンタに適用した例を示す図である。

【0022】まず、本発明による導波路型第2高調波発生光源を、図13に示す従来の光源素子と比較して本発明の特徴を明らかにする。図1において、半導体レーザ7の光はコリメートレンズ系9、偏光板11、集光レンズ系10を介して、基板1内に設けられた光導波部4の端面に入射する。したがって、コリメートレンズ系9、偏光板11、集光レンズ系10等が、図13に示す従来の素子の光ファイバ62に相当する。なお上記コリメートレンズ系9、偏光板11、集光レンズ系10等を光ファイバに置き換えても、本発明の作用および効果は変わらない。

【0023】基板1には周期 $\Lambda 2$ の分極反転/屈折率変調部3と周期 $\Lambda 1$ の分極反転/屈折率変調部5とが光導波部4に沿って設けられ、上記分極反転/屈折率変調部3により基本波レーザ光を第2高調波に変換し、分極反転/屈折率変調部5により上記基本波側に反射する。したがって、半導体レーザ7と分極反転/屈折率変調部5間の伝播特性により、半導体レーザ7の発振波長（基本波波長） $\lambda$ が決定される。すなわちこの部分が半導体レーザ7の共振器として動作する。

【0024】これに対し図13に示す従来の光源素子では、分極反転格子53が上記分極反転/屈折率変調部5の役割を兼ねている。この結果、上記のように図13に示す素子では構造が単純化されるけれども、第2高調波変換効率 $\eta$ と基本波に対する反射率を同時に高めることが困難である、という問題が発生していた。

【0025】本発明では周期 $\Lambda 2$ の分極反転/屈折率変調部3と周期 $\Lambda 1$ の分極反転/屈折率変調部5とを別々に設けることにより、第2高調波発生部と基本波の反射部とを分離できるので、それぞれを最適に設計することができる。また、本発明では分極反転/屈折率変調部5上に、光学的に透明な薄膜を介して光導波部4に平行に一対の電極17が配置されている。上記電極17に電界を印加することにより、分極反転/屈折率変調部5内を伝搬する導波光の実効屈折率を変化させることができ、分極反転/屈折率変調部5のブラッグ反射波長を変えることができる。これにより、素子作製誤差により第2高調波発生波長とレーザ発振波長がずれた場合でも、電圧

印加により両者を一致させることができる。また逆に、電極17に高周波の交流電界を印加することで、レーザ発振波長を高周波数で変化させることもできるので、これによりレーザ発振波長を第2高調波発生波長からずらすことができ、第2高調波出力強度を変調することができる。

#### 【0026】第1実施例

本発明による導波路型第2高調波発生光源の第1実施例を図1により詳細に説明する。基板1はZcutLiTaO<sub>3</sub>単結晶板であり、その表面は-c面になっている。上記基板1の自発分極は通常下向きであり、基板1内にプロトン交換法により分極反転/屈折率変調部3および5が同時に作製される。上記LiTaO<sub>3</sub>やLiNbO<sub>3</sub>の単結晶は、空間群R3cに属する強誘電体結晶であり、その非線形光学係数の符号は上記自発分極の向きに一致して周期的に反転する(ジャーナル・オブ・アプライド・フィジクス(Journal of Applied Physics)のVol. 40, No. 2, 720~734頁参照)。半導体レーザ7は一端に反射膜8を備え、偏光板11により偏光方向を90度回転されて光導波部4に入射する。分極反転/屈折率変調部3において、上記基本波レーザ光は第2高調波に変換される。コーティング膜12は上記基本波を通過させ第2高調波光を反射させる。上記分極反転/屈折率変調部3から出射した基本波成分は、分極反転/屈折率変調部5により反射されて、半導体レーザ7側にフィードバックされ半導体レーザ7を例えば波長830nmで発振させる。また、分極反転/屈折率変調部3から出射した第2高調波成分15は、その反射を防止するためのコーティング膜13とコリメートレンズ14を通過して出射される。なお、上記各光学素子はホルダ16により位置決めされてコンパクトにマウントされる。

10

\*率変調部3において、上記基本波レーザ光は第2高調波に変換される。コーティング膜12は上記基本波を通過させ第2高調波光を反射させる。上記分極反転/屈折率変調部3から出射した基本波成分は、分極反転/屈折率変調部5により反射されて、半導体レーザ7側にフィードバックされ半導体レーザ7を例えば波長830nmで発振させる。また、分極反転/屈折率変調部3から出射した第2高調波成分15は、その反射を防止するためのコーティング膜13とコリメートレンズ14を通過して出射される。なお、上記各光学素子はホルダ16により位置決めされてコンパクトにマウントされる。

【0027】つぎに上記本発明による導波路型第2高調波発生光源の特性を理論的に導いて、その特徴を具体的に説明する。光導波部4の実効屈折率の変化 $\Delta N$ は波長の変化によって生じる。可視光領域では物質の屈折率 $n$ の波長依存性はSellmeinerの式に従う。例えばLiTaO<sub>3</sub>では(3)式のようになる。

【0028】

【数3】

$$n^2 = A_1 + A_2 / (\lambda - A_3) - A_4 \times \lambda^2 \quad (3)$$

【0029】ただし、 $A_1 = 4.5789$ 、 $A_2 = 9.9304 \times 10^{-14}$ 、 $A_3 = 4.2275 \times 10^{-14}$ 、 $A_4 = 2.2400 \times 10^{-10}$ で、 $\lambda$ の単位はmである。

【0030】なお、 $A_1 \sim A_4$ 等の値は、Ti-サファイアレーザ、色素レーザ、アルゴンレーザを用いた測定により求めた、図1に示す実施例における基板1の屈折率 $n$

$$\Delta N = -4.24 \times 10^{-4} \cdot \Delta \lambda$$

【0032】長さ10mmの第2高調波発生素子で効率を最大値の80%以上に保つには、 $\Delta N$ を $2.5 \times 10^{-5}$ 以下にする必要があるが、(2)式によりこれを $\Delta \lambda$ に換算すると0.043nm以下に抑える必要があることがわかる。しかし、半導体レーザの波長は通常1nmのオーダーで変化するため、上記のような条件を満たすことはほとんど不可能である。

【0033】そこで本発明では、前記のように分極反転/屈折率変調部5からのブラッグ反射を用いて半導体レーザ7の発振波長をロックし、同時に半導体レーザ7の注入電流値の変化や縦モードホッピングを防止するようにしている。図3は半導体レーザ7の発振波長 $\lambda$ と分極反転周期 $\Lambda_2$ とブラッグ回折周期 $\Lambda_1$ の関係を示す図である。上記ブラッグ回折周期 $\Lambda_1$ は(1)式で与えられる。図3から $q=1$ とすると $\lambda=850$ nmになり、これに対して $\Lambda_1$ は0.19 $\mu$ mという作製困難な値になるので、本実施例では $q=17$ に設定し分極反転/屈折率変調部5の周期を $\Lambda_1=3.4\mu$ mにした。また分極反転周期 $\Lambda_2$ は(2)式で与えられる。 $\lambda=850$ nmで第2高調波を発生させるには、 $\Lambda_2=3.9\mu$ mとす

30

※ $n_s$ に対する値である。(3)式の値を用いて、設計波長 $\lambda_0=850$ (nm)からのずれ $\Delta \lambda$ に対する $\Delta N$ を求めると(4)式が得られる。

【0031】

【数4】

$$(4)$$

る必要があることがわかる。本実施例では分極反転/屈折率変調部3の周期を $\Lambda_1=3.9\mu$ mに設定した。

【0034】本実施例では、上記のように分極反転/屈折率変調部3を分極反転格子として、分極反転/屈折率変調部5をブラッグ回折格子として用いているが、逆に分極反転/屈折率変調部3がブラッグ回折格子として作用する可能性もある。しかし図3より、 $\Lambda_2=3.9\mu$ mの周期でレーザ発振する可能性がある波長は、805nmまたは885nmであり、レーザの利得が極めて小さい波長域なので、これらの波長では発振しないと考えられる。したがって、レーザ発振は波長850nm付近のみでおこり、周期 $\Lambda_2=3.9\mu$ mの分極反転/屈折率変調部3ではブラッグ反射がおこらず、第2高調波のみが発生する。

【0035】ところで、分極反転/屈折率変調部におけるブラッグ反射の複素反射率 $r$ は(5)式で与えられる。

【0036】

【数5】

$$r = \frac{i K \sinh(\sigma L_b)}{(\Delta \beta) \sinh(\sigma L_b) - i \sigma \cosh(\sigma L_b)} \quad (5)$$

【0037】ただし、Kは結合係数、 $L_b$ はブラッグ回折格子の長さ、 $\Delta \beta$ は位相不整合量で

\* 【0038】

\* 【数9】

$$\Delta \beta \equiv \frac{4\pi}{\lambda} \left\{ \left( N \left( \frac{\lambda}{2} \right) - N(\lambda) \right) - \frac{2\pi}{\Lambda} \right\}, \quad \sigma^2 \equiv \left( \frac{\alpha}{2} + i \cdot \Delta \beta \right)^2 + K^2,$$

【0039】 $\alpha$ は光損失係数である。

※ (6) 式に示す最大値  $R_0$  をとる。

【0040】回折格子5の反射係数は  $R = |r|^2$  で表

10 【0041】

わされ、ブラッグ条件を満足する  $\Delta \lambda = 0$  の場合に ※ 【数6】

$$R_0 = \tanh^2(K L_b) \quad (6)$$

【0042】分極反転／屈折率変調部5の結合係数  $\kappa$  は ★ 【0043】

(7) 式のようになる(西原、春名、栖原共著「光集積回路」オーム社、77頁参照)。

★

$$\kappa = - \frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{1}{8\pi} \cdot \frac{n_r \cdot N(\lambda) \int_{-h}^0 \{H_y(x)\} / n^2(x) dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} |H_y(x)|^2 / n^2(x) dx}$$

(7)

【0044】ただし、 $n_r$ は光導波部の屈折率、 $H_y(x)$ は磁場の界分布、 $n(x)$ は座標  $x$  における屈折率、 $q$ はブラッグ回折次数である。

【0045】本実施例ではブラッグ回折次数を  $q = 17$  とする。また、分極反転／屈折率変調部はプロトン交換法によって作製するので、 $\Delta n = 0.01$  程度であり  $\kappa = 5.0 \times 10^{-4} \mu\text{m}^{-1}$  となる。光導波路4の光伝搬損失を約  $0.5 \text{ dB/cm}$  とし  $L_b = 4000 \mu\text{m}$  とし、その反射率  $R$  を求めると図4が得られる。図4において、ブラッグ条件が満足されるとき ( $\Delta \lambda = 0$ ) の反射率  $R$  は  $0.913$  であり、 $R$  の値が  $80\%$  以上の値に保たれる波長  $\Delta \lambda$  の範囲は  $\pm 0.05 \text{ nm}$  と良好な波長選択性をもつ。したがって、半導体レーザの発振波長はほぼこの範囲に引き込まれ、安定な第2高調波の発振を実現することができる。

【0046】また、第2高調波の発生効率  $\eta$  も図13に示した従来の素子よりも、格段に大きくすることができる。その理由の第1は、半導体レーザ7の外部共振器として必要な分極反転／屈折率変調部5を第2高調波を発生する分極反転／屈折率変調部3から分離しているので、光伝搬損失が小さくなるように分極反転／屈折率変調部3を製作できるからである。第2の理由は、基本波に対する反射率を度外視して第2高調波発生効率を高めるように、分極反転／屈折率変調部3を製作できるからである。また第3の理由は、第2高調波を発生する分極反転／屈折率変調部3を、半導体レーザ7と回折格子として作用する分極反転／屈折率変調部5との中間に置いたため、基本波の往路と帰路とで第2高調波が発生されるためである。さらに、上記第2高調波がコーティング

膜12により反射されてほぼ完全にコーティング膜13から出射されることも、第2高調波の発生効率  $\eta$  に寄与する。

【0047】上記検討結果に基づいて作製した、本発明による導波路共振型SHG光源の発振特性はつぎのようになった。出力ミラーの反射率を  $0.1\%$ 、後方反射ミラーの反射率を  $90\%$  とした場合の最高出力が、入力電流  $200 \text{ mA}$  で  $100 \text{ mW}$  のストライプ形GaAlAs系半導体レーザを用い、後方ミラー8の反射率をやはり  $90\%$  とし出力側を反射防止膜でコーティングした場合に、しきい値が約  $50 \text{ mA}$  であり、注入電流  $200 \text{ mA}$  で  $40 \text{ mW}$  という極めて強い波長  $425 \text{ nm}$  (青色) の第2高調波出力を得た。従来の第2高調波発生素子の出力は、同程度の入力に対して  $2.0 \text{ mW}$  レベルであるから、本発明により第2高調波出力レベルをほぼ  $20$  倍に高め得たことになる。上記出力レベルは反射鏡8、コーティング膜12や外部共振器等の構造を最適化することによりさらに向上できる可能性がある。

【0048】つぎに、電極17による引込み波長の補正効果について記載する。上記のように第2高調波発生の基本波波長帯域は  $\pm 0.043 \text{ nm}$  と極めて狭いので、例えば素子作製工程において種々の作製誤差が発生した場合は、分極反転／屈折率変調部5によって引き込まれた半導体レーザの引込み波長と、第2高調波発生の波長がずれてしまうことが起り得る。そこで、電極17に直流電圧を印加することによって、回折格子5上を伝搬する導波光の実効屈折率を補正し、引込み波長を調整することができる。

【0049】電圧印加による実効屈折率の変化  $\Delta N$  は、

(8) 式で大体を表わすことができる。

【0050】

$$\Delta N = -\frac{1}{2} n^2 \Gamma r \frac{V}{g} \quad (8)$$

【0051】ここで、 $r$ は電気光学係数で、例えばLiTaO<sub>3</sub>の場合は約30pm/Vという値をもつ。 $n$ は光導波路4の屈折率、 $V$ は印加電圧、 $g$ は電極の距離、 $\Gamma$ は導波光の電場と印加電界の電場との重なりを表わす係数で、電極と光導波路との配置にもよるが、その値は0.3~0.7である。したがって、TTLレベルの電圧±5Vの印加により、例えば電極距離を5μmとした場合に $\Delta N = 8 \times 10^{-5}$ となり、これより引込み波長は±0.5nmほど補正できる。50V程度の電圧を印加すれば、±5nmという大幅な補正も可能である。

【0052】逆に半導体レーザの引込み波長と第2高調波発生時の波長が一致している場合は、上記電圧印加によって出力の第2高調波の強度を変調できる。上記のように第2高調波の出力は、半導体レーザの波長が所定の波長から僅か0.15nmずれただけで殆んどゼロになる。そこで、上記TTLレベルの±5Vの電圧印加により半導体レーザ波長を0.5nmずらせば、第2高調波の出力をゼロにすることができる。また、電圧値を調整し基本波の屈折率を変化させることにより、(2)式に従って任意の第2高調波強度を得ることができる。

【0053】なお、上記周期Λ2の分極反転/屈折率変調部3と周期Λ1の分極反転/屈折率変調部5とは、上記半導体レーザ7に対する設定位置が逆であっても、同様の効果が得られる。

【0054】つぎに、本実施例における光源の作製方法を簡単に説明する。—c面を鏡面に研磨したLiTaO<sub>3</sub>基板1上に、30nm厚のTa膜をスパッタリング法で成膜し、図2に示す分極反転/屈折率変調部3ならびに5の斜線部を、開口を有するホトマスクを用いてホトレジストにパターニングしたのち、上記ホトレジストをマスクにして反応性イオンエッチング法を用いてTa膜をパターニングしたのちに上記ホトレジストを除去する。その後、上記基板1を白金板に乗せ、さらに白金板ごと上記基板をプレート型ヒータに乗せて、ピロりん酸(H<sub>2</sub>P<sub>4</sub>O<sub>7</sub>)を適量基板上に滴下したのち、温度240℃ないし260℃、時間30分ないし60分程熱処理を行ない、白金ごと上記ヒータから降して急冷する。その後基板を十分に水洗し、70℃に加熱した水酸化ナトリウム水溶液を用いてTa膜を除去する。このようにして、スパイク形状の分極反転格子と、屈折率が0.01から0.02程変調された分極反転/屈折率変調部3および5が同時に形成される。上記分極反転/屈折率変調部3および5は、このままで伝搬損失約0.5dB/cmの良好な光導波路4になっている。したがって、上記作製法によれば、分極反転格子と回折格子および光導波

\*【数8】

\*

路を別個に作製していた従来の作製に比べ、極めて簡単な工程で素子を作製することができる。分極反転/屈折率変調部3および5を作製したのち、例えば二酸化けい素のパッファ層6をスパッタリング法で約100nm成膜し、その後周期Λ1の分極反転/屈折率変調部5の電極パタン17を形成する。

【0055】最後に、素子を約20mm×10mmのチップに切り出し、上記10mmの辺の2端面を光学研磨した。その後、上記素子、半導体レーザ7、レンズ系等をホルダ16上に位置決めし、マウントして光源の作製を終了する。

【0056】第2実施例

図5に示す本発明の第2実施例は、位相整合法としてバランス位相整合を用いた例である。図5において、101は例えばKTP(PO<sub>4</sub>)基板、102および103はルビジウム(Rb)イオン拡散法によって形成された分極反転/屈折率変調部であり、102は第2高調波を発生する部分(第1実施例の3に相当)、103はレーザ波長を固定する回折格子の作用をする部分(第1実施例の5に相当)である。その他の部分はすべて上記第1実施例と同一であり、複数の屈折率領域のバランスで基本波と第2高調波との位相整合を行っている。

【0057】第3実施例

図6に示す本発明の第3実施例は、位相整合を非線形光学係数を周期的に小さくすることにより達成する例である。図6において111は例えばLiNbO<sub>3</sub>基板であり、112および113はそれぞれプロトン交換された部分とされない部分とにより構成された、第2高調波を発生する部分(第1実施例の3に相当)、およびレーザ波長を固定する回折格子の作用をする部分(第1実施例の5に相当)を示し、その他の部分はすべて第1実施例と同一である。上記プロトン交換された部分の非線形光学係数はプロトン交換されていない部分の非線形光学係数の約半分であり、これによって擬位相整合を達成することができる。

【0058】第4実施例

上記第1実施例から第3実施例に示した第2高調波発生光源を、光ディスクの記録または再生に使用した第4実施例を図7に示す。光ディスクに記録されるべき信号によって本発明の光源は変調されるが、変調の方法は第1実施例に示したように、上記信号に従って電極17に所定の電圧を印加してレーザ光源の発振周波数を変化させ、位相整合条件を強制的に崩すことにより行う。本発明による光源122の導波路端面から発した、直流電圧印加手段121により変調された光ビームは、その後



第2高周波コリメートレンズ123を介し、ビームスプリッタ124、ミラー125に至り、対物レンズ126を経てスポットに形成され、変調信号に応じて光ディスク127の上にピットの列が形成される。これを再生するときは記録時より低い光パワーとし、上記光ディスク127からの反射光をビームスプリッタ124で分岐し、光検出器128で受光してもとの変調信号を復調する。

#### 【0059】第5実施例

上記第1実施例から第3実施例に示した第2高調波発生光源を、レーザビームプリンタ用の光源として用いた第5実施例を図8に示す。上記第4実施例の場合と同様に第2高調波発生光源122を発する変調された光はレンズで集光され、回転多面体131で光ビームは左右に振られ、走査用対物レンズ126により感光ドラム132上にスポットが形成される。変調信号により上記感光ド\*

$$\frac{2\pi}{\Lambda 1} = 2N(\lambda) \frac{2\pi}{\lambda} \quad (1)$$

【0062】を満足する波長 $\lambda$ で発振され、上記領域以外の変調周期 $\Lambda 2$ の少なくとも1つが

$$\frac{2\pi}{\Lambda 2} = \frac{4\pi}{\lambda} \{N(\lambda/2) - N(\lambda)\} \quad (2)$$

【0064】で満足し（ただし、 $N(\lambda)$ は波長 $\lambda$ における導波光の実効屈折率、 $N(\lambda/2)$ は波長 $\lambda/2$ における導波光の屈折率）、かつ（1）式を満足しないように設定することにより、あるいは上記（2）式を満足する周期を有する変調領域が、半導体レーザと（1）式を満足する変調領域との間に設置されることにより、2つ以上の互いに周期が異なる分極反転／屈折率変調部を作製し、その一方を第2高調波発生用に、他方を回折格子として用いるため、第2高調波発生部と基本波の反射部とを分離できるので、それぞれに対して最適の設計をすることができる。

【0065】また、半導体レーザの発振周波数が電極に印加される電圧により制御されるため、上記半導体レーザの発振周波数を第2高調波発生周波数にチューニングしたり、逆に第2高調波光の強度を直接変調することもできる。また、上記半導体レーザの出力向上とともに、第2高調波の発生効率を従来装置に比べて格段に大きくすることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による導波路型第2高調波発生光源の第1実施例を示す断面図である。

【図2】上記第1実施例の平面図である。

【図3】上記第1実施例の分極反転周期および回折格子周期と半導体レーザ波長との関係を示す図である。

【図4】上記実施例における回折格子反射率とブラッグ条件からのずれを示す図である。

\*ラム132上に形成された潜像に、トナーがまぶされて紙に転写される。

#### 【0060】

【発明の効果】上記のように本発明による導波路型第2高調波発生光源は、基本波である半導体レーザの光を、自発分極を有する光学基板内に設けた、自発分極の向きおよび基板の屈折率が周期的に変調される光導波部に入射して、第2高調波に変換する導波路型第2高調波発生光源において、上記光導波部が少なくとも2つ以上の互いに周期が異なる領域からなり、上記半導体レーザが、上記光導波部のある周期 $\Lambda 1$ を有する領域からのブラッグ反射により

#### 【0061】

【数1】

※【0063】

※【数2】

【図5】本発明による導波路型第2高調波発生光源の第2実施例を示す断面図である。

【図6】本発明による導波路型第2高調波発生光源の第3実施例を示す断面図である。

【図7】本発明の光源を光ディスクに応用した第4実施例を示す図である。

【図8】本発明の光源をレーザビームプリンタに適用した第5実施例を示す図である。

40 【図9】従来の複屈折位相整合法を用いた第2高調波発生素子を示す斜視図である。

【図10】従来のチェレンコフ位相整合法を用いた第2高調波発生素子の斜視図である。

【図11】従来の分極反転格子を用いた第2高調波発生素子の斜視図である。

【図12】従来の導波路の幅が変調された第2高調波発生素子の斜視図である。

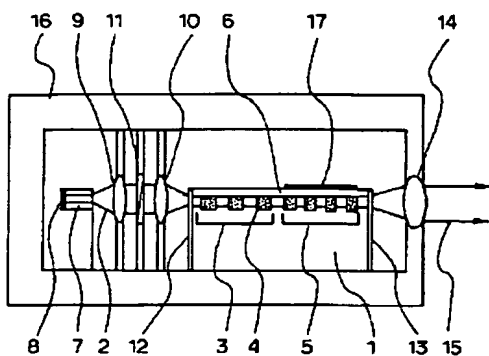
【図13】従来の分極反転格子共振型第2高調波発生素子の構成図である。

#### 40 【符号の説明】

- |       |             |    |       |
|-------|-------------|----|-------|
| 1     | 光学基板        |    |       |
| 3、5   | 分極反転／屈折率変調部 |    |       |
| 4     | 光導波部        | 6  | 透明薄膜  |
| 7     | 半導体レーザ      | 8  | 反射膜   |
| 12、13 | コーティング膜     | 15 | 第2高調波 |
| 17    | 電極          |    |       |

【図1】

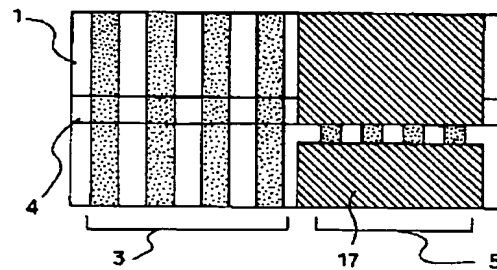
図1



1: 光学基板 3,5: 分極反転/屈折率変調部  
 4: 光導波部 6: 透明薄膜 7: 半導体層 8: 反射膜  
 12,13: コーティング膜 15: 第2高調波 17: 電極

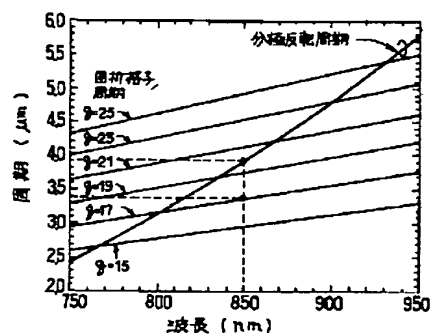
【図2】

図2



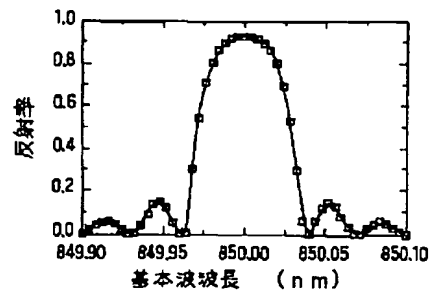
【図3】

図3



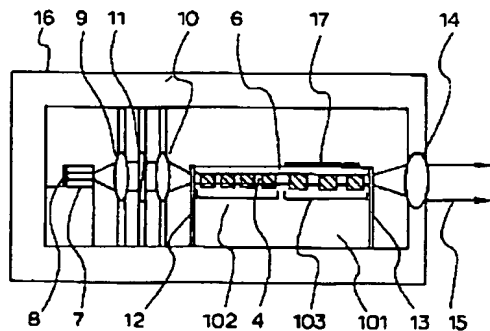
【図4】

図4



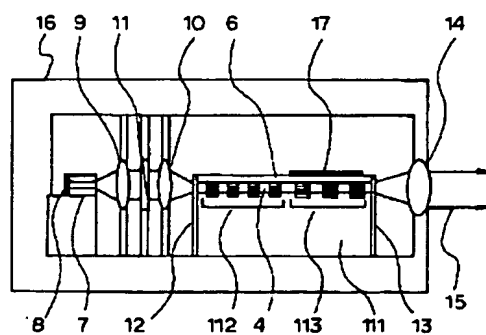
【図5】

図5



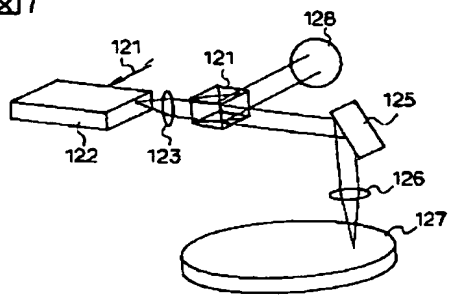
【図6】

図6



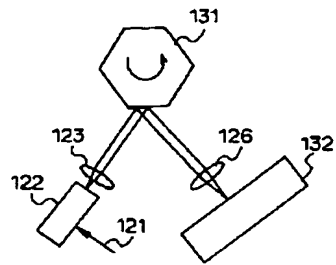
【図7】

図7



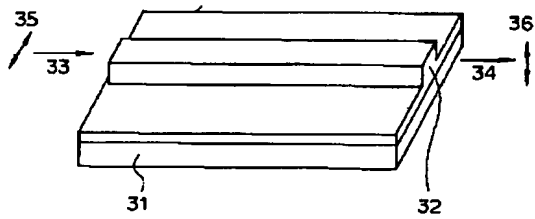
【図8】

図8



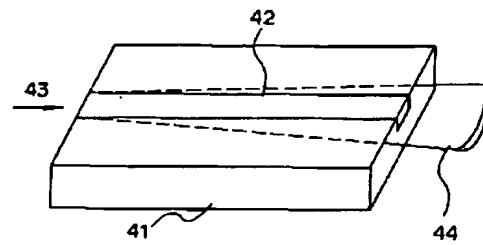
【図9】

図9



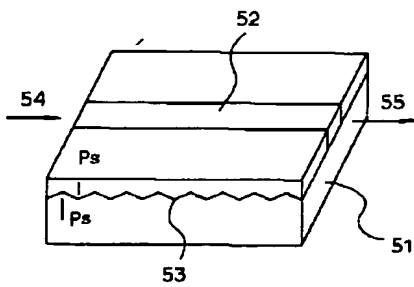
【図10】

図10



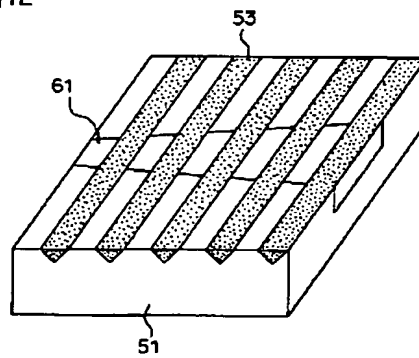
【図11】

図11

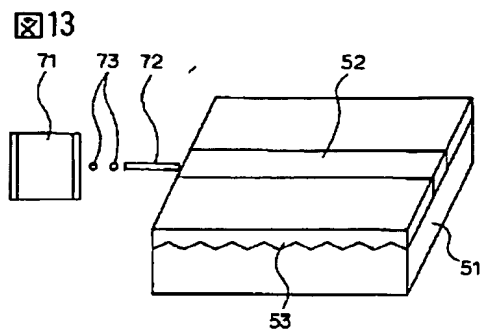


【図12】

図12



【図 1 3】




---

フロントページの続き

(72)発明者 楓 弘志  
 東京都国分寺市東恋ヶ窪 1 丁目280番地  
 株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 薦田 琢  
 東京都国分寺市東恋ヶ窪 1 丁目280番地  
 株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 牧尾 諭  
 埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地 日立金属株  
 式会社磁性材料研究所内

(72)発明者 二反田 文雄  
 埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地 日立金属株  
 式会社磁性材料研究所内